



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001264830 A**(43) Date of publication of application: **26.09.01**

(51) Int. Cl.

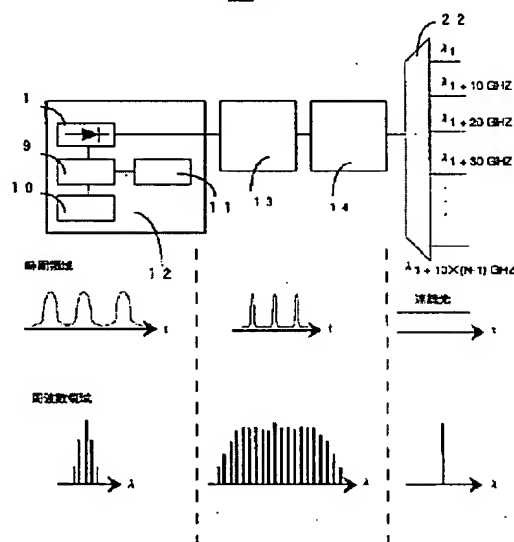
G02F 1/365**G02F 1/35****H01S 3/06****H01S 3/10****H04J 14/00****H04J 14/02**(21) Application number: **2000071717**(22) Date of filing: **15.03.00**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**(72) Inventor: **KATO MASAO
TAKADA KAZUMASA
OKAMOTO KATSUNARI
TAKIGUCHI KOICHI**(54) **MULTI-WAVELENGTH LIGHT SOURCE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a multi-wavelength light source having a high light output in each wavelength channel, being the multi-wavelength light source of continuous light excellent in stability, operability, and mass-productivity.

SOLUTION: In the light source constituted of a light pulse generating means to generate a light pulse, an optical spectrum magnification means consisting of an optical nonlinear medium to induce an optical nonlinear phenomenon, and an optical demultiplexer to separate light at an interval of a certain wavelength, the optical demultiplexer is a multi-wavelength light source constituted of an array type optical waveguide grating in which the repeat frequency of a light pulse train in the light pulse generating means or a longitudinal mode interval in the frequency component of the light pulse, and the frequency interval of the wavelength separation are identical to the longitudinal mode interval.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-264830

(P2001-264830A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 2 F 1/365		G 0 2 F 1/365	2 K 0 0 2
1/35	5 0 1	1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/06		H 0 1 S 3/06	B 5 K 0 0 2
3/10		3/10	Z
H 0 4 J 14/00		H 0 4 B 9/00	E
審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 14 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-71717(P2000-71717)

(22) 出願日 平成12年3月15日 (2000.3.15)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 加藤 正夫

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 高田 和正

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100083552

弁理士 秋田 収喜

最終頁に続く

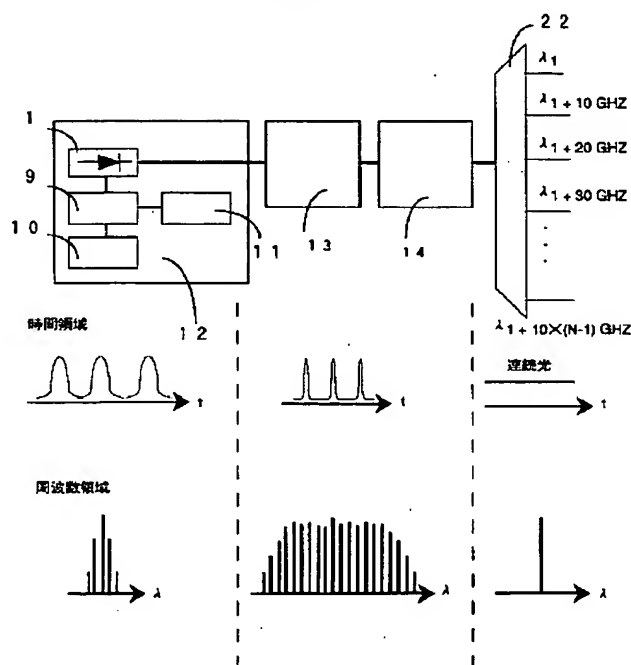
(54) 【発明の名称】 多波長光源

(57) 【要約】

【課題】 安定性、操作性、及び量産性に優れた連続光の多波長光源であり、各波長チャンネルの光出力の高い多波長光源を得る。

【解決手段】 光パルスを生成する光パルス発生手段と、光非線形現象を誘起する光非線形媒質からなる光スペクトル拡大手段と、光をある波長間隔で分離する光分波器により構成される光源において、前記光分波器は、前記光パルス発生手段における光パルス列の繰り返し周波数または光パルスの周波数成分中の縦モード間隔と波長分離の周波数間隔が、前記縦モード間隔に等しいアレイ型光導波路格子により構成される多波長光源である。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光パルスを生成する光パルス発生手段と、光非線形現象を誘起する光非線形媒質からなる光スペクトル拡大手段と、光をある波長間隔で分離する光分波器により構成される光源において、前記光分波器は、前記光パルス発生手段における光パルス列の繰り返し周波数または光パルスの周波数成分中の縦モード間隔と波長分離の周波数間隔が、前記縦モード間隔に等しいアレイ型光導波路格子により構成されることを特徴とする多波長光源。

【請求項2】 前記光パルス発生手段は、電気的な直接変調を受けた半導体レーザであることを特徴とする請求項1に記載の多波長光源。

【請求項3】 前記光スペクトル拡大手段の前段に、前記光パルス発生手段で生成した光パルスのパルス幅を時間的に圧縮または拡大するパルス成形手段を有することを特徴とする請求項1または2に記載の多波長光源。

【請求項4】 前記パルス成形手段において、前記光パルスの中心波長よりも短波長側に零分散波長を有する光非線形媒質を使用することを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか1項に記載の多波長光源。

【請求項5】 前記光非線形媒質は、前記光パルスが伝搬するにしたがい前記零分散波長が長波長に変化することを特徴とする請求項4に記載の多波長光源。

【請求項6】 前記光非線形媒質に前記光パルスの波長帯域を増幅することが可能な希土類元素を添加し、前記光パルスが伝搬するにしたがい、前記光パルスのピークパワーを光増幅により大きくすることを特徴とする請求項4または5に記載の多波長光源

【請求項7】 前記光非線形媒質に光非線形現象の一種類であるラマン散乱周波数シフトの内、前記光パルスの中心波長を基準として、短波長側のアンチストークスシフト光を前記光非線形媒質の光パルスの入射端側から入射して光パルスを増幅しながら圧縮することを特徴とする請求項4乃至6のうちいずれか1項に記載の多波長光源。

【請求項8】 前記光スペクトル拡大手段において、前記光非線形媒質中に光非線形現象が誘起されにくい波長領域を故意に付与することを特徴とする請求項1乃至7のうちいずれか1項に記載の多波長光源。

【請求項9】 前記光スペクトル拡大手段における、前記光非線形媒質に付与する前記光非線形現象が誘起されにくい波長領域は、光の伝搬速度が前記光非線形媒質中の非線形現象が誘起される波長領域の光と比較して遅いことを特徴とする請求項8に記載の多波長光源。

【請求項10】 前記光スペクトル拡大手段における、前記光非線形現象が誘起されにくい波長領域は、ポンプ光パルスの中心波長における前記ラマン散乱周波数シフトに相当する波長と、該波長よりもアンチストークスシフト側では短波長側であり、ストークスシフト側では長

波長側の領域であることを特徴とする請求項8または9に記載の多波長光源。

【請求項11】 前記光スペクトル拡大手段において、故意に伝送損失を高くするかまたは放射モードへ結合させる波長領域を設けることを特徴とする請求項8乃至10のうちいずれか1項に記載の多波長光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システムの光源に関し、特に、波長多重伝送システムの光源において1台のレーザから多波長のコヒーレントな光を発振する多波長光源に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】通信システムの研究開発は、1981年の基幹伝送系への商用導入を契機として大きく展開し始め、4～5年あたり4倍のペースで伝送容量が拡大し、1996年に10Gbpsの大容量光伝送システムが実用化に至っている。

【0003】これまでは、実用化されたシステムのほとんどが単一波長システムであった。波長多重(WDM)システムとしては、2波長多重双方向伝送システム(1チャンネルあたりの伝送速度6Mbps)が実用化されている。ここで、波長多重(以下、WDMと称する)とは信号光を周波数領域で多重する方式である。

【0004】近年では、コンピュータ通信需要の増大を背景として、光ファイバの持つ広帯域性を活かす方式によるさらなる大容量光通信システムの研究開発が活発化している。その研究開発動向は、伝送速度が向上するにしたがって電気的な多重、分岐挿入等のノード処理に速度制限が生じるのでWDMの周波数多重度を上げる方向に進んでいる。これまでにWDM技術や光時分割多重(以下、光TDMと称する)技術により数テラbpsの超大容量伝送が実験的に達成されている。ここで、光TDMとは超短光パルスを光学的に時間多重する方式である。

【0005】WDMシステムの信号送信手段では、従来、図11に示すような構成が用いられている。図11に示すように、nチャンネルのWDMシステムでは、発振波長の異なる半導体レーザ(LD)1をn個、信号を符号化する光変調器2及び光合波器3を介して1本の光ファイバに接続する。波長が合波された光信号は、光増幅器4により伝送距離に見合った光出力にまで増幅されて伝送される。このとき、n個の異なる信号波長は、光周波数の利用効率及び光合波器、光分波器の設計上、ある一定の周波数間隔で設定されている。現在、ITUの勧告により、前記周波数間隔(周波数グリッド)は193.1THz(1552.524nm)を1つの基準(アンカー周波数)として、100GHz(約0.8nm)とされている。また、さらに高密度のWDMシステム用

には50GHz間隔の周波数グリッドが定められている。図12(a)に周波数間隔100GHz、nチャンネルのWDM信号を図12(b)に周波数間隔50GHz、nチャンネルのWDM信号を模式的に示す。

【0006】図12に示すように、WDM信号はn個のLDから発振されたn個の波長の異なるレーザ光のスペクトル5が、周波数間隔100GHzまたは50GHzで多重されている。このとき、各波長チャンネルの光源には、チャンネル間隔の1/10程度の精度で波長制御が必要である。

【0007】また、多波長光源では、図13に示す発生回路により多波長パルス光源が報告されている。その構成は、数psのポンプ光パルスが発生する光ファイバモード同期リング型レーザ（以下、FMR Lと称する）6を光源とし、前記ポンプ光／パルスを高出力光増幅器7により増幅した後、光非線形現象を誘起する光非線形媒質として三次分散が広帯域にわたって小さく、かつ光ファイバの長手方向で分散が減少する光ファイバ8を用いて、広帯域な周波数成分を持つスーパーコンティニウム（以下、SCと称する）光が発生させ、発生した周波数成分を光分波器22で切り出している。発生した広帯域な周波数成分は、FMR Lで発生したポンプ光パルス列の繰り返し周波数で決まる縦モード間隔の周波数成分により構成されている。図14(a)に縦モード間隔 $\lambda \times$ ポンプ光パルス列のスペクトルを図14(b)にそのパルスで発生するSC光のスペクトルを模式的に示す。

【0008】光分波器22の各波長分離チャンネルにお

けるバンドパス周波数帯域内に複数の前記縦モードの周波数成分が含まれる場合、光分波器22で波長分離した光はパルスとなる。図16(a)に光分波器により波長分離されたSC光のスペクトルを模式的に示す。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】前記のWDMでは、伝送容量の拡大にともない波長チャンネル数を増大して周波数の多重度を上げていく。このときシステム中に挿入されている光増幅器（EDFA）には帯域制限があるので、周波数の多重度を増加するにしたがい波長分離する周波数間隔を狭くしなければならない。周波数間隔が狭くなると、光源に要求される発振線幅及び周波数制御が厳しくなる。例えばLDの場合、単一波長で発振する分布帰還型半導体レーザ（以下、DFB-LDと称する）では、次式の数1に示すパラメータにより発振波長 λ を制御することができる。

【0010】

$$\text{【数1】} \quad \lambda = 2 \times n_{\text{eff}} \times \Lambda / m$$

ここで、 Λ は回折格子の周期、 n_{eff} は回折格子や活性層を含む光導波路構造の実効屈折率、 m は整数で回折格子の次数を示す。通常は回折効率の高い1次の回折格子を用いるので m は1である。一般的なDFB-LDにおける発振波長に影響を与える構造パラメータとそれによる波長変化量を表1に示す。

【0011】

【表1】

構造パラメータ	構造パラメータの変動幅	発振波長の変化量
活性層幅	200 nm	1.2 nm
活性層組成	4 nm	0.6 nm
活性層膜厚	1 %	0.25 nm
回折格子周期	0.001 nm	0.006 nm
温度	0.01 °C	0.001 nm

【0012】表1には、現状の技術レベルで制御可能な各パラメータの制御精度と、それに対する発振波長の変化量を示している。これらのパラメータのばらつきはわずかであるが、まだ1~2nm程度の波長設定誤差が生じる。この誤差は、LDの温度を変化させ、各層の屈折率を制御することで解消することができるので、光源として特定の指定された発振波長のLDを製造することは

ある程度可能である。

【0013】なお、発振波長の温度変化は約0.1nm/°Cである。しかしながら、WDMで周波数の多重度を上げ、1nm前後またはそれより下の波長間隔で多くの波長を並べる場合には、光通信装置が要求する広い温度範囲で波長を一定に保つためにさらなる温度の制御をLD1台毎に行う必要があり、装置の複雑化やシステムの

制御において問題があった。

【0014】また、従来提案されている広帯域な周波数成分の光から所望の波長を切り出す多波長光源は、図13に示すように、多波長の短パルス光源である。パルス光源では、ポンプ光パルス列の繰り返し周波数によって各波長チャンネルでの伝送速度（ビットレート）が決まるので、波長チャンネル毎にビットレートを変えるフレキシブルなネットワーク構築、及び現在のシステムで使われているNRZフォーマットでの伝送が困難である等の問題があった。

【0015】さらに、前記パルス光源では、SC光の発生において、非線形現象を制御することが困難であり、図8及び図15(a)に示すように、ポンプ光の出力を上げても光分波器後の各波長チャンネルの光出力が上がらないという問題、及び図15(b)に示すように、ポンプ光の出力を上げてもSC光の発生に寄与しない光非線形現象である誘導ラマン散乱により光周波数成分が散乱するという問題があった。

【0016】さらに、前記多波長パルス光源では、タイミングジッタなどパルス光源であることに起因する問題を抑制するために、高性能なFMR Lをポンプ光レーザに必要とする等、光源の操作性及び量産性やコスト面に問題があった。

【0017】本発明の目的は、ポンプ光パルス列の繰り返し周波数またはポンプ光パルス列の縦モード間隔と光分波器の波長分離間隔を同じにすることにより、連続光の多波長光源を提供することにある。本発明の他の目的は、LDを直接変調して使用することにより、安定性、操作性、及び量産性に優れた多波長光源を提供することにある。本発明の他の目的は、光非線形現象を制御することにより各波長チャンネルの光出力の高い多波長光源を提供することにある。本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明の概要を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

(1) 光パルスを生成する光パルス発生手段と、光非線形現象を誘起する光非線形媒質からなる光スペクトル拡大手段と、光をある波長間隔で分離する光分波器により構成される光源において、前記光分波器は、前記光パルス発生手段における光パルス列の繰り返し周波数または光パルスの周波数成分中の縦モード間隔と波長分離の周波数間隔が、前記縦モード間隔に等しいアレイ型光導波路格子により構成される多波長光源である。

【0019】(2) 前記(1)の多波長光源において、前記光パルス発生手段は、電気的な直接変調を受けた半導体レーザである。

【0020】(3) 前記(1)または(2)の多波長光源において、前記光スペクトル拡大手段の前段に、前記

光パルス発生手段で生成した光パルスのパルス幅を時間的に圧縮または拡大するパルス成形手段を有する。

【0021】(4) 前記(1)乃至(3)のうちいずれか1つの多波長光源において、前記光パルスの中心波長よりも短波長側に零分散波長を有する光非線形媒質を使用する。

【0022】(5) 前記(4)の多波長光源において、前記光パルスが伝搬するにしたがい前記零分散波長が長波長に変化する。

【0023】(6) 前記(4)または(5)の多波長光源において、前記光非線形媒質に前記光パルスの波長帯域を増幅することが可能な希土類元素を添加し、前記光パルスが伝搬するにしたがい、前記光パルスのピークパワーを光増幅により大きくする。

【0024】(7) 前記(4)乃至(6)のいずれか1つの多波長光源において、前記光非線形媒質に光非線形現象の一種類であるラマン散乱周波数シフトの内、前記光パルスの中心波長を基準として、短波長側のアンチストークスシフト光を前記光非線形媒質の光パルスの入射端側から入射して光パルスを増幅しながら圧縮する。

【0025】(8) 前記(1)乃至(7)のうちいずれか1つの多波長光源において、前記光非線形媒質中に光非線形現象が誘起されにくい波長領域を故意に付与する。

【0026】(9) 前記(1)乃至(8)のうちいずれか1つの多波長光源において、前記光スペクトル拡大手段における、前記光非線形媒質に付与する前記光非線形現象が誘起されにくい波長領域は、光の伝搬速度が前記光非線形媒質中の非線形現象が誘起される波長領域の光と比較して遅い。

【0027】(10) 前記(8)または(9)の多波長光源において、前記光スペクトル拡大手段における、前記光非線形現象が誘起されにくい波長領域は、ポンプ光パルスの中心波長における前記ラマン散乱周波数シフトに相当する波長と、該波長よりもアンチストークスシフト側では短波長側であり、ストークスシフト側では長波長側の領域である。

【0028】(11) 前記(8)乃至(10)のうちいずれか1つの多波長光源において、故意に伝送損失を高くするかまたは放射モードへ結合させる波長領域を設ける。すなわち、本発明では、多波長光源に内蔵される光パルス発生手段にLD及び電気のシグナル発生器を有し、LDを直接変調することによりパルスを生成する。これにより、本発明の多波長光源は、安定性、操作性、量産性及びコスト面において優れた特性を有する。なお、この場合に生成される光パルスは前述のFMR Lと比較して、パルス幅が広く、所望のSC光を発生させることが困難であるので、パルス幅を狭くするパルス成形部を設けている。

【0029】また、従来の多波長光源では、図14に示

すように、SC光は、ポンプ光パルスの持つ縦モード間の相互作用による自己周波数変換が光非線形現象により発生したものであるため、SC光の周波数成分は、ポンプ光パルスの縦モード間隔を通過した周波数間隔で構成されている。従来提案されている多波長光源は、図16(a)に示すように、光分波器による波長分離において複数の前記縦モード成分を切り出しているため、波長分離後の各波長チャンネルの光はパルス化する。それに対し、本発明では、図16(b)に示すように、光分波器による波長分離において単一の前記縦モード成分を切り出しているため、波長分離後の各波長チャンネルの光は連続光となる。

【0030】なお、ポンプ光パルスの縦モード間隔は、それを発生するレーザにおけるパルス列の繰り返し周波数と一致するので、繰り返し周波数と光分波器の波長分離間隔（周波数間隔）を一致させることにより、SC光から単一の周波数成分のみを切り出すことができる。このとき、光分波器の各波長チャンネルにおける波長帯域（バンドパス周波数）は前記縦モード間隔より狭くする必要がある。この光分波器は、アレイ型光導波路格子であることが望しい。

【0031】前記パルス成形手段では、光非線形現象であるソリトン効果を利用している。この場合、所望のパルス幅までパルス圧縮を行うためには、光パルス発生手段で生成された光パルスのパルス幅及びそのピークパワーと非線形作用長を最適化する必要がある。このとき、パルス圧縮を行う光非線形媒質に被圧縮パルスの光増幅が可能な希土類元素を混入し、パルスが光非線形媒質を伝搬し、圧縮されるにしたがってパルスのピークパワーを増大させることにより、効果的にパルス圧縮を実現できる。

【0032】また、被圧縮パルスのピークパワーを増大させる手段としては、光非線形現象を利用したラマン増幅を用いることも可能である。被圧縮パルスをラマン増幅するためには、パルス圧縮を行う光非線形媒質に被圧縮パルスの入射端側から、被圧縮パルスの中心波長における、アンチストークス周波数シフト量だけ短波長のレーザ光をポンプ光として入力する必要がある。

【0033】なお、これまでに提案されている多波長光源において、光パルス圧縮にラマン増幅を用いた例は報告されていない。また、パルス圧縮を効率よく行う手段としては、前述のパルス圧縮用の光非線形媒質の零分散波長が前記被圧縮パルスの伝搬に伴って長波長にシフトすることも効果的である。

【0034】また、本発明では、光非線形現象を制御するために、SC光を発生する光スペクトル拡大手段において、光非線形現象が誘起されにくい波長領域を故意に設けている。光非線形現象が誘起されにくい波長領域では、入射された光エネルギーは光周波数成分の高出力化に寄与する。これにより、光分波器により波長分離され

た各波長チャンネルの光出力を高くすることができる。

【0035】さらに、SC光の発生に寄与しない光非線形現象である誘導ラマン散乱を抑制することにより、さらなる光出力の高出力化を実現する。前述の故意に付与する光非線形現象が起きにくい領域は、具体的には前述したポンプ光パルスの中心波長におけるアンチストークス周波数シフト量よりも短波長の領域とストークス周波数シフト量よりも長波長の領域である。ここで、アンチストークス周波数シフト量及びストークス周波数シフト量は、光スペクトル拡大手段で使用する光非線形媒質の材料により決まり、例えば、石英ガラスを光非線形媒質として使用する場合には、波数シフト量 440 cm^{-1} 程度のところにストークス周波数シフト量に相当する第一ピークがある。これは波長に換算すると、 100 nm 程度である。ラマン散乱は光非線形媒質に入射した光と光非線形媒質中の光学フォノンとの相互作用による散乱であり、誘導現象を起こさない場合には、その散乱量はとても小さく入射光の 10^{-6} 程度（約 -60 dB ）である。しかし、ラマンしきい値と呼ばれるあるしきい値以上になると誘導現象を起こし、入射光パワーのほとんどがラマン周波数シフトを起こし、波長が変換される。

【0036】本発明では、このラマンしきい値を越えないように、ラマン周波数シフト量に相当する波長領域の光損失量または放射モードへの結合量を増加させることにより誘導現象の発生を抑制する。したがって、非線形媒質に入射したポンプ光パルスのエネルギーはSC光の周波数成分に効果的に変換され、高出力のSC光発生を実現する。

【0037】以下に、本発明について、本発明による実施形態（実施例）とともに図面を参照して詳細に説明する。

【0038】

【発明の実施の形態】図1は、本発明による一実施形態の多波長光源の概略構成を示すブロック構成である。本実施形態の多波長光源は、図1に示すように、光パルス発生手段12と、パルス成形手段13と、周波数拡大手段14と、光分波器22とで構成されている。前記光パルス発生手段12は、半導体レーザ1、電気の周波数多重器9、半導体レーザドライバ10、及び電気の周波数発生器11を備えている。

【0039】本発明の多波長光源の特徴の一つは、光パルス発生手段12において、半導体レーザ1を半導体レーザドライバ10で制御し、電気の周波数多重器9を介して周波数発生器11からの変調信号による直接変調で光パルスを発生させることである。図2に光パルス発生手段12において 10 GHz の繰り返し周波数のパルスパターン発生器（信号パターン10101）で生成した光パルスの時間波形を示す。図2よりパルス幅約 30 ps の光パルスが生成されたことがわかる。なお、図2に示す光パルスは、本実施形態の多波長光源に内蔵する光

パルス発生手段12で生成するポンプ光パルスの一実施例であり、これに限定するものではない。本構成を採用することにより、本発明の多波長光源は、安定性、操作性、量産性、及び経済性に優れている。しかしながら、使用する半導体レーザ1の特性により発生した光パルスの周波数が時間的に変化するチャープ成分を含むことがあるため、光パルス発生手段12中に、チャープを補償する機能を付加する場合がある。このときのチャープ補償は、光パルスのチャープ特性（時間的に長波長にシフトするかまたは時間的に短波長にシフトする）と逆特性の分散特性を有するものであれば、特に限定する必要はなく、光ファイバ、光導波路等で実現が可能である。また、別の手段としては、光バンドパスフィルタによりチャープ成分を除去することも効果的である。

【0040】前記パルス成形手段13では、光非線形現象である光ソリトン効果による光パルスの成形を採用した。次式の数2にソリトン次数(N)とパルス圧縮率(Fc)の関係を示し、その関係を図示したものを図3に示す。

【0041】

【数2】 $F_c = 4.1 \times N$

数2の式及び図3より、ソリトン次数が高くなるほど、パルスの圧縮率が高くなり、より短い光パルスができることがわかる。ここで、ソリトン効果について簡単に説明する。ソリトン波は、光非線形現象と波長分散によるパルスの急峻化と拮抗が釣り合うことで波形が崩れずに長距離を伝搬する波として知られている。具体的には、光非線形媒質の非線形性を示す非線形定数(γ)、非線形作用長(L_{nl})、光パルスのパルス幅(T_0)、ピークパワー(P_0)、光非線形媒質の分散(D)を示すファクタ(B_2)をパラメータとして次式の数3、数4の関係をjつことが知られている。数4の式において、cは光速度である。

【0042】

【数3】 $P_0 \times T_0^2 = N^2 \times |B_2| / \gamma$

【数4】 $D = -2 \times \pi \times c \times |B_2| / \lambda^2$

また、必要とされる非線形作用長(L_{nl})を次式の数5に示す。

【0043】

【数5】 $L_{nl} = 0.322 \times \pi \times 1.76 \times T_0^2 / (2 \times |B_2|)$

数5の式の作用長は、ソリトン周期とも呼ばれている。一実施例として、図4(a)にパルス幅が10ps、20ps、30ps、40psのときの分散とピークパワーの関係を、図4(b)に同じパルス幅での分散と非線形作用長の関係を各々示す。なお、光非線形媒質の非線形定数は18(1/W/km)、ソリトン次数は4である。図4より、光非線形媒質が同じで有れば、パルス幅を広くすることで、圧縮に必要とされる光パワーを小さくすることができるのがわかる。本実施例では、パルス

幅が約30psのパルスを使用したので、ソリトン次数4で約2psまでパルスを圧縮するために、ピークパワー約20mW、非線形作用長として、約10kmのシングルモードファイバを使用した。

【0044】図5(a)、(b)、(c)に前記パルス成形手段13の各々異なる構成をjつ一実施例を示す。図5(a)に示すパルス成形手段13の実施例は、光増幅器4と、モニタ用に光増幅器4の前後に光カプラ15と、出力ポート16と、光非線形媒質17と、光非線形媒質の後に波形モニタ用の光カプラ15とを備えている。

【0045】なお、光増幅器4に光の入出力パワーをモニタする機能を有している場合には、モニタ用の光カプラ15は、光増幅器4の前のみ設置し、入射パルスの波形モニタだけでよい。また、動作時においては、光パルス発生手段12で生成される光パルスが一定のパルス幅及び光出力を有しているので、常時パルス波形及び光出力をモニタする必要はなく、保守点検及び微調整用に設置しているだけである。さらに、前述したように光パルス発生手段12で生成される光パルスは、中心波長とパルス幅と出力が一定であるため、光増幅器4のゲインは常に同じ設定でよい。

【0046】パルス圧縮を行う過程において、パルスが光非線形媒質17を伝搬するにjたがい圧縮されると、数3の式に示す関係がくずれるために効率よくパルス圧縮を行うことができなくなる。この抑制のため、光非線形媒質17の零分散波長をパルスの伝搬にjたがい長波長にシフトさせることが有効である。こうすることでポンプ光パルスにおける分散が光非線形媒質の長手方向にそって小さくなり、数3の式の関係を保つことができるので効果的にパルス圧縮を行うことができる。その他の手段としては、図5(b)の実施例に示すように、光非線形媒質17に被圧縮パルスを増幅することが可能な希土類元素を添加し、被圧縮パルスのパルス幅が短くなるにjたがいパルスのピークパワーを大きくする。これにより数3の式の関係を維持することが可能である。本実施例では、被圧縮パルスの中心波長が1550nmであったため、添加した前記希土類元素はエルビウム(Er)であった。

【0047】したがって、図5(b)に示す実施例の構成は、前記実施例の図5(a)に示す構成に、光非線形媒質17に添加した希土類元素を励起する励起レーザ19及びその結合用に波長多重カプラ18を有する。本実施例では、励起レーザ19を2つ使用し、双方向励起を行っているが、特にこれに限定するものではなく、光非線形媒質17に添加した希土類元素を効果的に励起できれば、励起レーザ19は1つでよく、その場合、被圧縮パルスの伝搬方向における出射端側から励起する。また、被圧縮パルスのピークパワーを光非線形媒質17を伝搬するにjたがい大きくする他の手段として、ラマン

増幅の効果を利用することもできる。

【0048】図5(c)に示すパルス成形手段13の実施例では、図5(a)に示すパルス成形手段13の実施例に加え、ラマン増幅用の励起レーザ20とその結合用に波長多重プラ18を有する。

【0049】なお、本実施例では、ラマン増幅用のポンプ光源として中心波長1450nmの高出力LDを使用した。通常、ラマン増幅のために誘導ラマン散乱を発生させるには、他の非線形現象と比較して、しきい値が高いために非線形作用長を長くとり、励起光を強くする必要がある。

【0050】図6にラマン増幅に必要な非線形作用長と励起光パワーの関係を示す。図6には、光非線形媒質としてシングルモードファイバ(SMF)と分散シフトファイバ(DSF)を使用した例を示した。なお、光非線形媒質は前述のファイバに限定するものではなく、非線形定数が高いものを使用することにより、非線形作用長を短く、また必要なポンプ光パワーを小さくすることが可能である。

【0051】前記パルス成形手段13の実施例では、光パルス発生手段12で生成するパルスが約30psであるので、図4(b)に示すように、圧縮に必要な非線形作用長が約10kmであり、必要とされるポンプ光パワーは、図6に示すように、1W程度であった。

【0052】前記周波数拡大手段14の実施例を図7に示す。周波数拡大手段14には、光増幅器4と、入射パルスの波形及び出力モニタ用に光プラ15と、出力ポート16と、光非線形媒質21を備えている。なお、この場合にも入射パルスのモニタは常時する必要はなく、保守点検及び微調整用に設けている。

【0053】また、周波数拡大手段14に内蔵する光非線形媒質21は、前述のパルス圧縮手段13に内蔵する光非線形媒質17とは、以下に示す違いを有する。光非線形媒質21では、広帯域な周波数成分を光非線形現象によって発生させる。この場合、発生する周波数成分の帯域は光非線形媒質21の持つ三次の分散に強く依存し、三次分散の小さい波長領域が広いほど、広帯域な周波数成分を発生できる。これは、発生した光の周波数間の伝搬時間差(位相速度差)が小さいほど、前述の周波数成分の拡大に寄与する光非線形現象の発生効率が高くなるからである。

【0054】図8に広帯域な周波数成分の発生例としてポンプ光のピークパワーに対する発生した周波数の半値幅及びそのときの1nmあたりの規格化した光出力を示す。図8より、ポンプ光のピークパワーを大きくするにしたいが、発生する周波数成分が拡大していることがわかる。

【0055】なお、このときの条件は、光非線形媒質に約1kmの石英系光ファイバ(非線形定数が18/W/km、三次分散が+0.03ps/nm²/km)を

用い、ポンプ光にパルス幅が1ps程度のパルスを使用した。また、図8に示すように、前記三次分散が零に近い波長領域が広いと、ポンプ光はパワーを上げて、周波数成分の拡大に寄与し、各周波数成分の単位周波数あたりの光出力を上げることができない。この問題を解決するために、本発明の多波長光源に内蔵する光非線形媒質21では、意図的に光非線形現象の誘起されにくい波長領域を付与した。言い換えるならば、発生する周波数領域に制限を与えることで、前記周波数成分の単位周波数あたりの光出力を高くしている。

【0056】図9に前記光非線形媒質21の波長分散特性の実施例を示す。この実施例は、前記光非線形媒質21の一実施例を示すのみで、これに限定するものではなく、非線形現象を誘起しない波長領域において、非線形現象を誘起する領域と比較して光の伝搬速度を遅くするだけでよい。

【0057】また、広帯域な周波数成分の発生に寄与しない非線形現象である誘導ラマン散乱の発生により図15(b)に示すような周波数成分の散乱が発生するので、本発明の多波長光源の周波数拡大手段14に内蔵する光非線形媒質21には、伝送損失または放射モードへの結合が高い波長領域を併せて有し、これにより、ラマン散乱光が誘導現象を起こすしきい値まで光出力が大きくならないようにした。石英系光ファイバ(SMFとDSF)におけるラマン散乱光が前記誘導現象を起こすしきい値の実施例として、図6に光パワーと非線形作用長の関係を示す。

【0058】また、前記非線形現象が誘起されない波長領域は、ポンプ光の中心波長からアンチストークスシフト量に相当する波長よりも短波長側、及びストークスシフト量に相当する波長から長波長側であり、かつ、前記非線形現象が誘起されない領域では、伝送損失または放射モードへの結合が高くなるようにした。

【0059】本実施例では、前記光非線形媒質21に石英系光ファイバを使用し、ポンプ光に中心波長1550nmのパルスを使用したため、非線形現象を誘起しない領域と伝送損失または放射モードへの結合が高い波長領域は、図9に示すように、1450nmより短波長側の領域及び1650nmよりも長波長側の波長領域である。

【0060】なお、光非線形媒質21の材質を、フッ化物ガラスや多成分ガラス等他のものを使用する場合には、ラマン散乱による周波数シフト量(アンチストークスシフト量とストークスシフト量)が変わるので、それに合わせて非線形現象が誘起されにくい波長領域及び伝送損失または放射モードへの結合が高い領域を変える必要がある。

【0061】さらに、前記非線形現象が誘起されない波長領域における伝送損失は、前記波長領域に吸収を持つ希土類イオン(テルビウム：中心波長1650nm、ホ

ルミウム：中心波長1800nm、ユウロピウム：中心波長1800nm、ジスプロシウム：中心波長1650nm)を少なくとも1種類以上混入するか、または、同時に1400nm帯に吸収を持つOH基を混入することにより高くすることが可能である。放射モードへの結合効率を高くする方法としては、紫外線誘起屈折率変化を利用した長周期のグレーティングを、単独または周期的に前記非線形媒質21に設けることで実現できる。なお、周期的にグレーティングを設ける場合には、グレーティング間で共振しないように、隣あうグレーティングの回折次数を変える必要がある。

【0062】前記アレイ型光導波路格子により構成される光分波器22の実施例について説明する。本発明の多波長光源では、ポンプ光パルスを生成するパルス発生手段のパルスの繰り返し周波数と、光分波器22の波長分離周波数間隔を一致させることを特徴とする。

【0063】これにより、発生させた広帯域な周波数成分を光分波器で切り出したときに、図1及び図16

(b)に示すように、単一の縦モード成分のみの連続光を得ることができる。光分波器22の実施例は、図2に示す10GHzの繰り返し周波数を有する光パルスをパルス発生手段で生成した場合、図10に模式的に示す波長分離周波数間隔が10GHzの石英系ガラスで生成されたアレイ型光導波路格子である。

【0064】なお、アレイ型光導波路格子で構成される光分波器22は、これに限定するものではなく、パルス発生手段で生成されるパルス列の繰り返し周波数及びパルス発生手段で生成された光パルスの周波数成分が持つ縦モード間隔に一致していればよい。

【0065】以上、本発明者によってなされた発明を、前記実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは勿論である。

【0066】

【発明の効果】本願において開示される発明によって得られる効果を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

(1) ポンプ光パルス列の繰り返し周波数またはポンプ光パルス列の縦モード間隔と光分波器の波長分離間隔を同じにすることにより、連続光の多波長光源を実現することができる。これにより、WDM光源に使用する場合には、ポンプ光パルスの繰り返し周波数に依存しない伝送速度及び従来使用しているNRZの伝送フォーマットで伝送が可能である。

(2) 広帯域な周波数成分を発生させる光非線形媒質において、発生させる周波数領域を限定することにより、高出力な多波長連続光の発生が可能である。これにより、メトロポリタンと呼ばれる光増幅器を使わない比較的近距離の伝送システムへの適用では、経済的かつ制御が容易なシステムの構築が可能となる。

(3) LDを直接変調して使用することにより、安定性、操作性、及び量産性に優れた安価な多波長光源を実現することができる。

(4) 光非線形現象を制御することにより、各波長チャンネルの光出力の高い多波長光源を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による一実施形態の多波長光源の概略構成を示すブロック構成である。

【図2】本実施形態のパルス発生手段において10GHzの繰り返し周波数のパルスパターン発生器で生成した光パルスの時間波形を示す図である。

【図3】本実施形態の数2の式に表わすソリトン次数(N)とパルス圧縮率(Fc)の関係を図示した図である。

【図4】本実施形態のパルス幅が10ps、20ps、30ps、40psのときの分散とピークパワーの関係及び同じパルス幅での分散と非線形作用長の関係を各々示す図である。

【図5】本実施形態のパルス成形手段の各々異なる構成を持つ実施例を示す図である。

【図6】本実施形態のパルス成形手段に利用したラマン増幅におけるポンプ光パワーと非線形作用長の関係を示す図である。

【図7】本実施形態の周波数拡大手段の詳細な構成を示す図である。

【図8】従来の光非線形現象を利用した周波数拡大における、ポンプ光パワーと生成される周波数成分及びその単位周波数あたりのパワーの関係を示す図である。

【図9】本実施形態の周波数拡大手段で採用した光非線形媒質の波長分散特性を示す図である。

【図10】本実施形態の光分波器の一実施例を示す図である。

【図11】従来のLDを多段に接続して構成されたWDMシステムの信号送信手段の構成例を示す図である。

【図12】従来のWDMシステムにおける光周波数間隔及び高密度のWDMシステムにおける光周波数間隔を模式的に示す図である。

【図13】従来の多波長のパルス光源の構成例を示す図である。

【図14】従来のポンプ光パルスのスペクトルに含まれる繰り返し周波数に依存した縦モードを示す図である。

【図15】ポンプ光の縦モード間隔と発生した周波数成分に含まれる縦モード間隔の関係及び誘導ラマン散乱によるSC光の周波数成分の散乱を示す図である。

【図16】多波長のパルス光源における各チャンネルでの周波数成分及び連続光の多波長光源における各チャンネルでの周波数成分を示す図である。

【符号の説明】

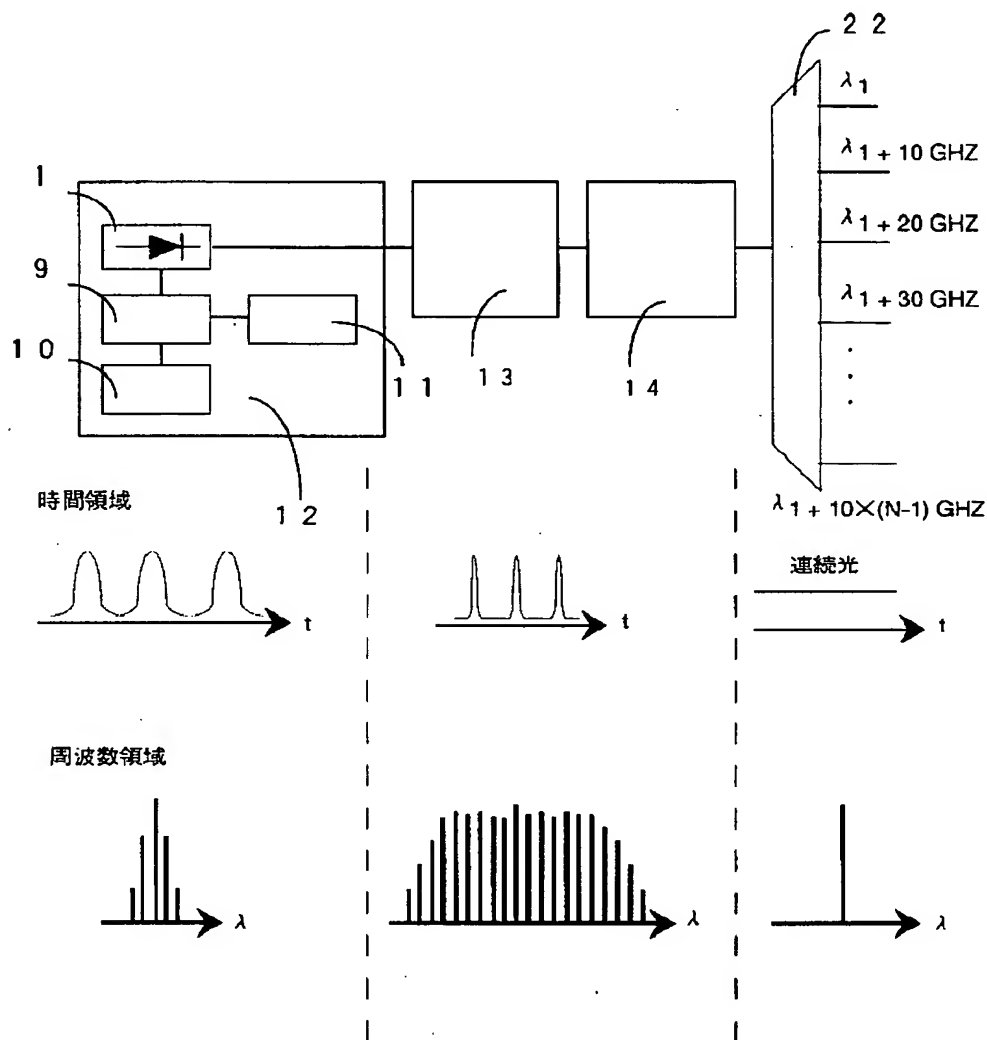
1…半導体レーザ、2…光強度変調器、3…光合波器、

4…光増幅器、5…光スペクトル、6…光ファイバモード同期リング型レーザー、8…光ファイバ、9…電気の周波数多重器、10…半導体レーザードライバ、11…電気の周波数発生器、12…光パルス発生手段、13…パル

ス成形手段、14…周波数拡大手段、15…光カプラ、16…出力ポート、17…光非線形媒質、18…波長多重カプラ、19…励起レーザー、20…ラマン増幅用励起レーザー、21…光非線形媒質、22…光分波器。

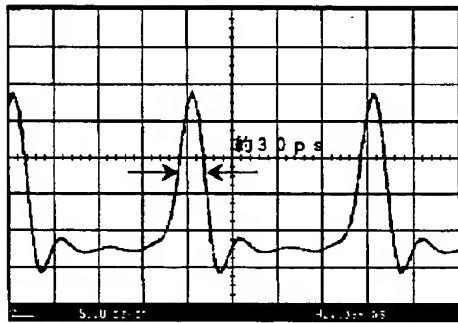
【図 1】

図 1



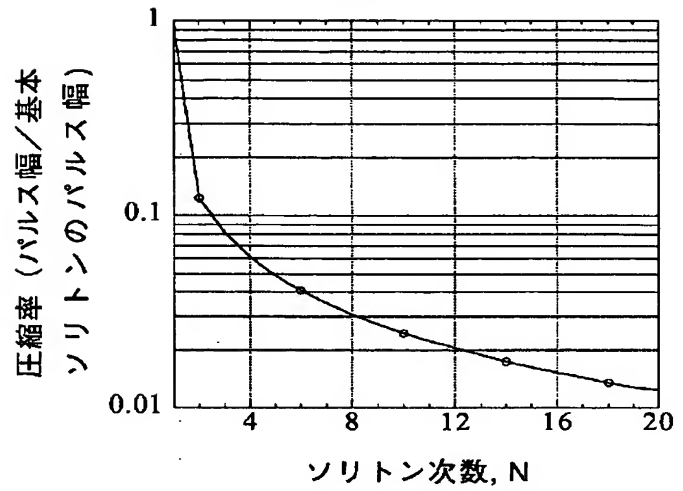
【図2】

図2



【図3】

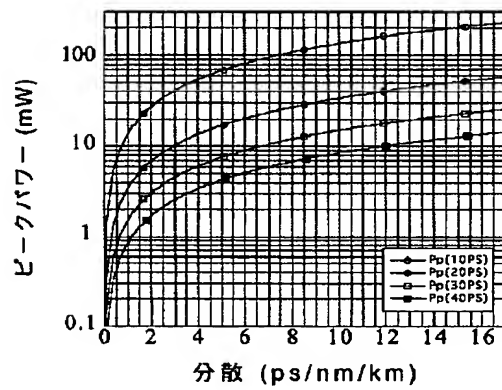
図3



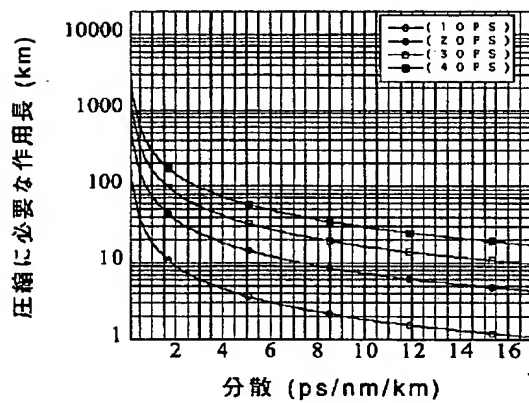
【図4】

図4

(a)



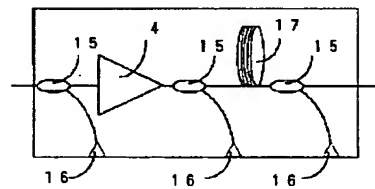
(b)



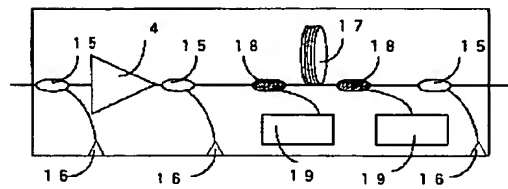
【図5】

図5

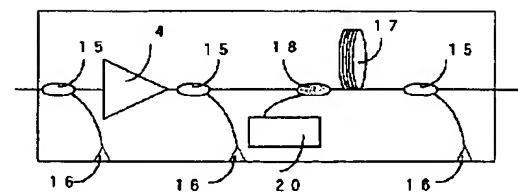
(a)



(b)

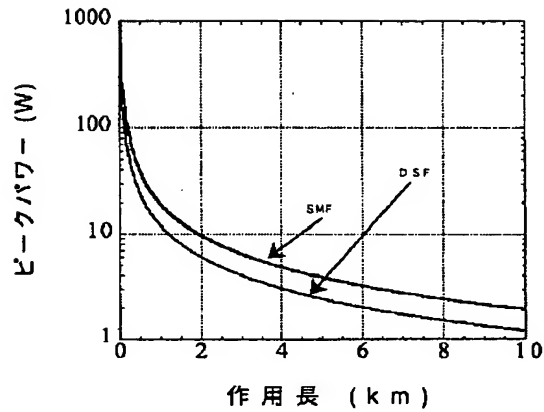


(c)



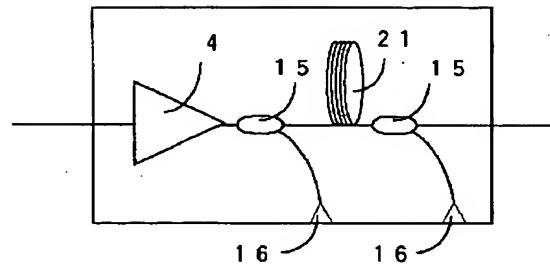
【図6】

図6



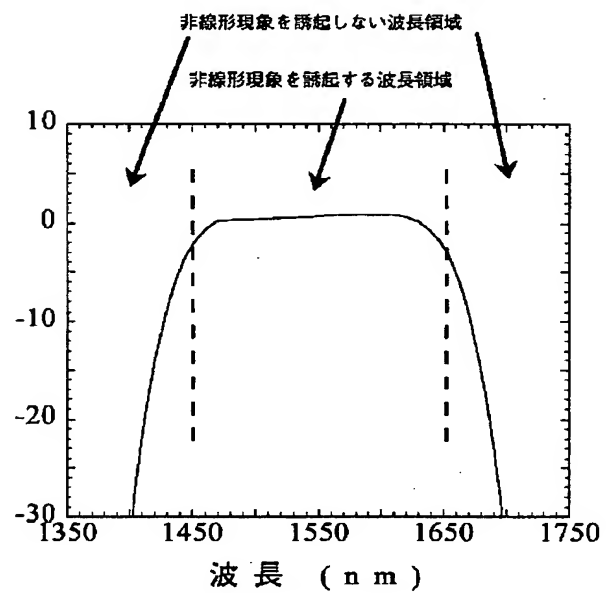
【図7】

図7



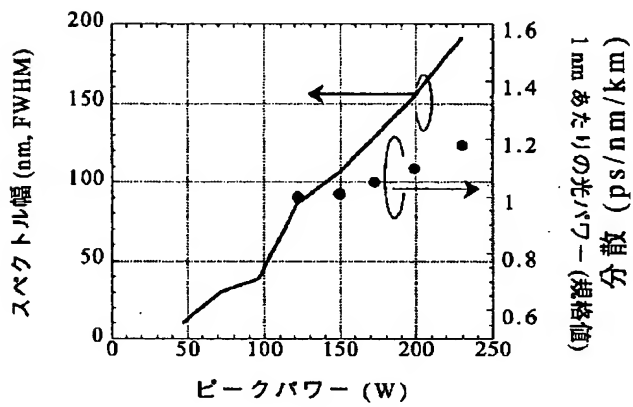
【図9】

図9



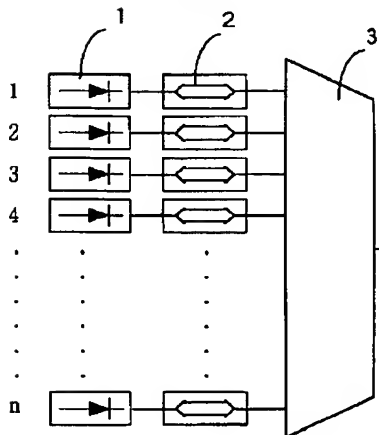
【図8】

図8



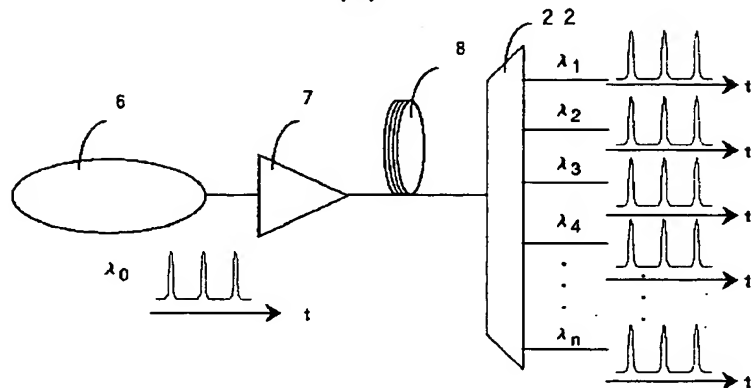
【図11】

図11



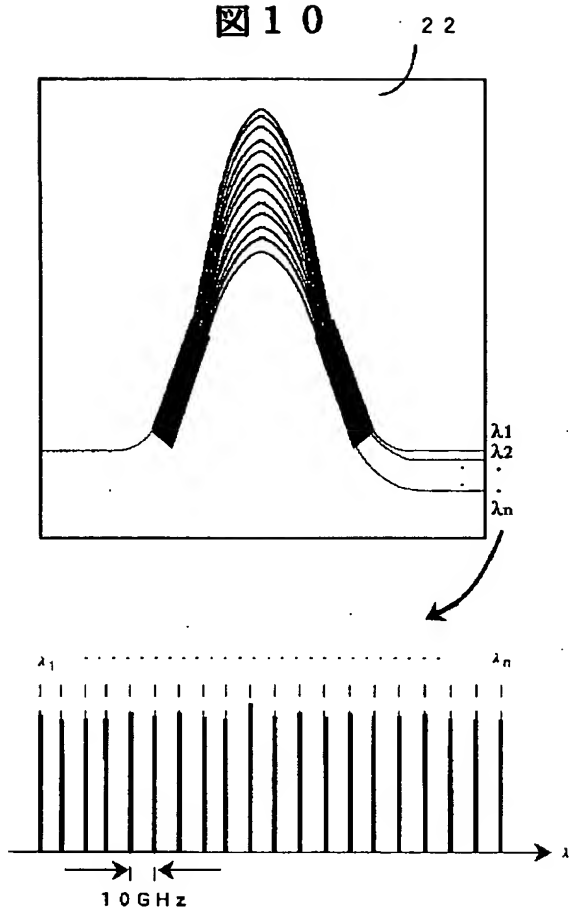
【図13】

図13



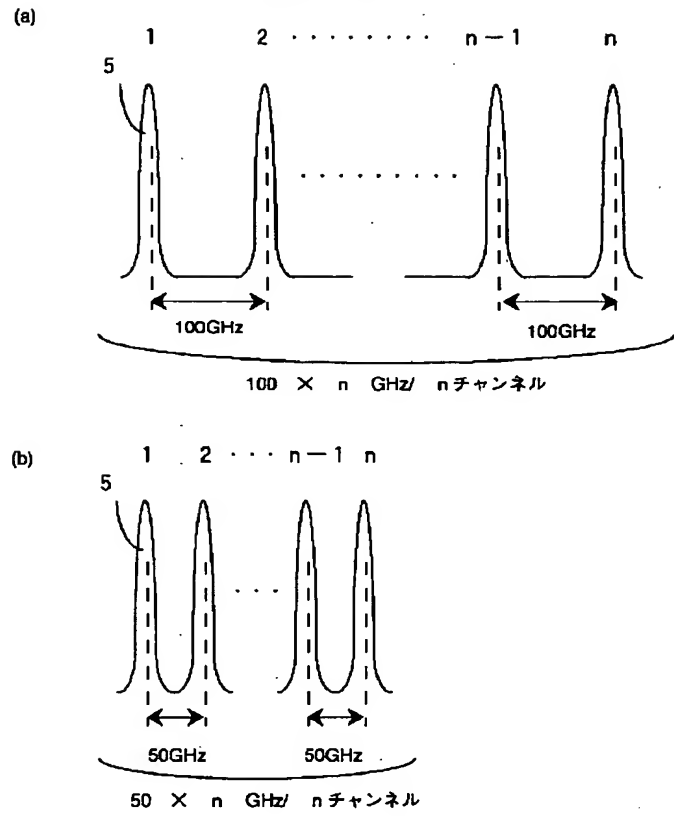
【図10】

図10



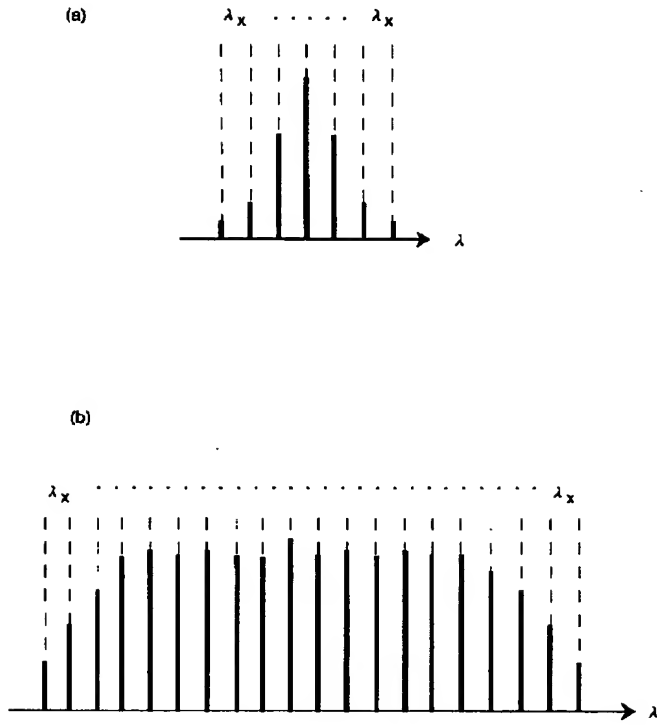
【図12】

図12



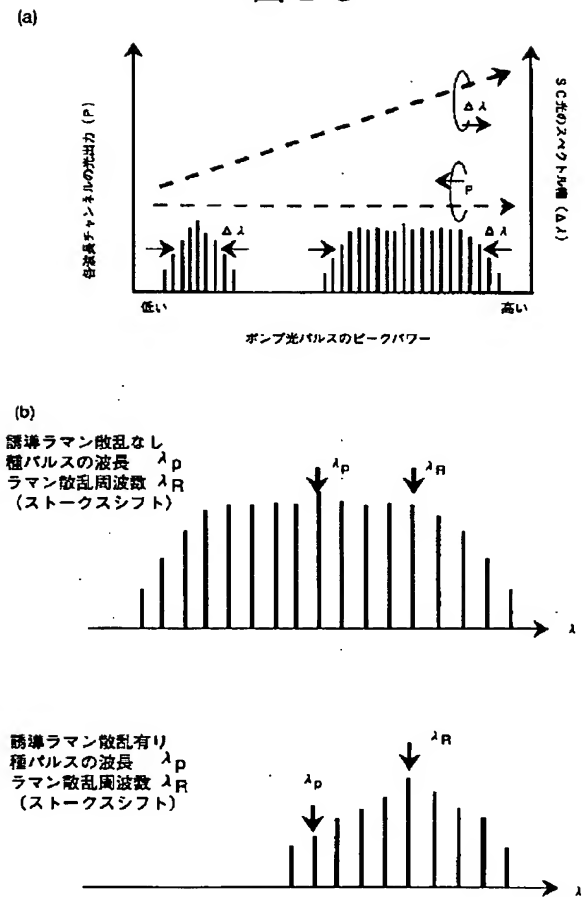
【図14】

図14



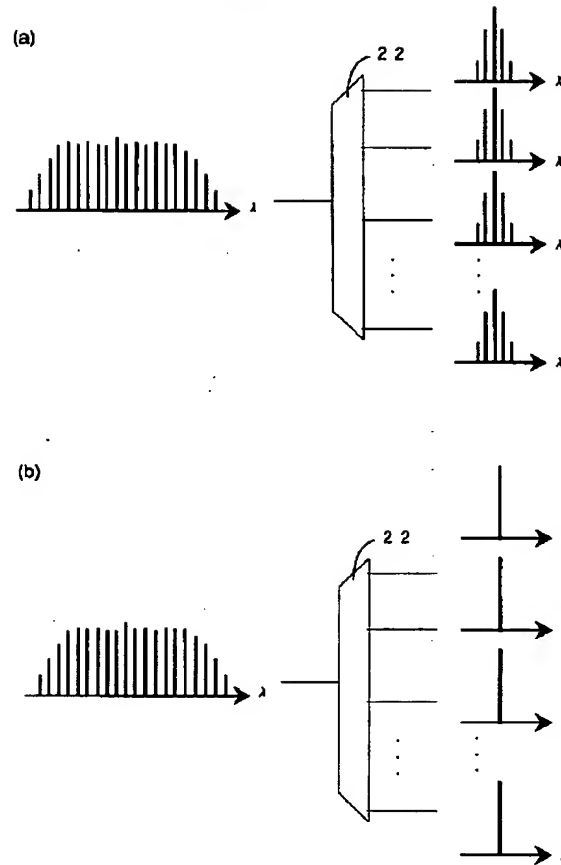
【図15】

図15



【図16】

図16



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

ターマート (参考)

H 0 4 J 14/02

(72) 発明者 岡本 勝就
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内

F ターム (参考) 2K002 AA02 AB27 AB32 AB33 BA02
 CA15 DA10 EA07 GA10 HA13
 HA23

(72) 発明者 瀧口 浩一
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内

5F072 AB07 AB09 AK06 JJ04 JJ20
 KK07 KK30 PP07 QQ07 QQ20
 RR01 SS07 YY17
 5K002 BA02 BA04 BA05 CA13 DA02
 FA01